

## Transgenik Orman Ağaçları

Ertuğrul FİLİZ<sup>1</sup>, Emrah ÇİÇEK<sup>2</sup>, Şemsettin KULAÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi Çilimli Meslek Yüksek Okulu, Çilimli, Düzce

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Düzce

### Eser Bilgisi:

Derleme

Sorumlu yazar: Ertuğrul FİLİZ, e-mail: [ertugrulfiliz@gmail.com](mailto:ertugrulfiliz@gmail.com)

### ÖZET

Biyoteknolojik yöntemler günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır ve bu alanlardan biride orman ağaçlarındaki biyoteknoloji uygulamalarıdır. Orman ağaçlarının hastalıklara ve herbisitlere karşı direnç kazanması, ağaç büyüme hızlarının artırılması ve çevresel streslere (kuraklık, tuzluluk, iklim değişikliği vb.) karşı dirençlerinin geliştirilmesi gibi hayati konularda biyoteknolojik yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca, odun kalitesinin artırılmasına yönelik lignin içeriklerinin azaltılması ve selüloz miktarının artırılmasıyla ilgili çalışmalarda dikkat çekmektedir. Bu uygulamalarla birlikte, transgenik ağaçların çevreye olumlu ve olumsuz etkileri tartışılmakta ve bu çalışmalarla ilgili yasal düzenlemeler yapılarak denetim sağlanmaya çalışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoteknoloji, GDO, transgenik ağaç

## Transgenic Forest Trees

### Article Info:

Review

Corresponding author: Ertuğrul FİLİZ, e-mail: [ertugrulfiliz@gmail.com](mailto:ertugrulfiliz@gmail.com)

### ABSTRACT

Biotechnological methods are used in many areas nowadays and one of these areas is applications of biotechnology in forest trees. Biotechnological methods are used frequently on vital issues such as gaining resistance against diseases and herbicide of forest trees, increasing tree growth rates and development of resistance against environmental stresses (drought, salinity, climate change etc.). Also, for improving the quality of wood that reducing lignin content and increasing the amount of cellulose draws attention. This together with applications, positive and negative effects of transgenic trees to the environment is discussed and it was tried to be provided on the auditing legal regulations concerned with these studies.

**Keyword:** Biotechnology, GMO, transgenic tree

## GİRİŞ

Günümüzde tartışılan konulardan biri olan genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO) veya transgenik organizmalar, genelde tarımsal ürünlerle ilgili bir konu olarak bilinmektedir. Fakat günümüzde karşımıza transgenik (Genetiği Değiştirilmiş=GD) ağaçlar ve özellikle transgenik orman ağaçları terimi çıkmaktadır. Tarımsal bitkilerle kıyaslandığında orman ağaçları genelde yabani ve yeni varyasyonlara uygun çok büyük bir genetik potansiyel taşımaktadırlar (Burley 2001). Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarına paralel olarak ormanlar üzerinde oluşan baskı, iklimsel değişiklikler ve fosil yakıt rezervlerinin azalması gibi nedenlerden

dolayı transgenik ağaçlar zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyanın ihtiyaç duyduğu odun ihtiyacının sürdürülebilir bir yöntemle karşılanması için biyoteknoloji önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada var olan doğal ormanlar tahrip olmakta belki de bu tahrip hızı artarak devam edecek ve bundan dolayı da dünyanın ihtiyacı olan odun miktarının karşılanmasında biyoteknolojik yöntemlerle geliştirilen transgenik ağaçlara ihtiyaç duyulacaktır. Biyoteknolojik çalışmaları temel beş ana gruba ayırmak mümkündür ki bunlar; doku kültürü ve klonal üretim, moleküler belirteç uygulamaları, moleküler belirteç yardımıyla seleksiyon ve ıslah, genomik ve proteomik,

genetik modifikasyon ve genetik mühendisliği uygulamalarıdır (Trontin ve ark. 2007; Henderson ve Walter 2006).

Transgenik ağaçlarla ilgili dünya çapında yapılan çalışmaların yaklaşık % 42'si Amerika'da, %10'unu Fransa, %6'sı Çin ve %5'i Kanada'da gerçekleştirilmektedir (FAO 2004). Yapılan genetik modifikasyon çalışmaları daha çok odun kimyasıyla ilgili özelliklere yönelik yapılmaktadır ki bunlardan bazıları odun liflerinin kalitesinin artırılması, hızlı büyüme, lignin içeriğinin azaltılması, selüloz içeriğinin artırılması, çevresel streslere ve hastalık etmenlerine karşı dayanıklılık gibi özelliklerdir (Balocchi ve Valenzuela 2004). Geleneksel ağaç ıslahı çalışmaları ortalama 10-20 yıl sürmekte ve istenilen özelliklerin kontrol edilmesinde fenotipik gözlemlere dayanıldığı için sınırlayıcı bir etki yapmaktadır. Biyoteknolojik yöntemlerle bu sorunlar aşılmakta ve klonal çoğaltım yapılarak bitkiler çok hızlı ve fazla sayıda üretilerek genetik transformasyonlara da uygun ortam oluşturulmaktadır. Genetik transformasyonlarda kullanılan yöntemler rekombinant DNA teknolojisi temellidir ve yaygın olarak kullanılan metotlar protoplast transformasyonu, direkt gen aktarımı (biyolistik) ve *Agrobacterium* kullanılarak yapılan transformasyonlardır.

Bu derlemede, biyoteknolojik araçlar kullanılarak transgenik (GD) ağaçların geliştirilmesi, transgenik ağaçların dünyadaki durumu ve yapılan resmi çalışmalar ile çevresel etkileri açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

### Orman Ağaçlarında Biyoteknolojik Uygulamalar

Model bitki *Arabidopsis thaliana* genomunun dizilenmesinin bitirilmesi, bitkilerle ilgili genomik uygulamalarının hızını artırmıştır. Tuskan ve ark. (2006), *Populus trichocarpa* genom dizisini bitirmeleri ağaç ıslahı çalışmalarında devrim etkisi yapmış ve biyoteknolojik tekniklerinde desteğiyle diğer ağaç türlerinde ıslah çalışmaları hızlanmıştır. Ayrıca, *Eucalyptus grandis* türünün genom dizisi (www.eucagen.org) taslağının

yayınlanması da ağaç ıslahı çalışmalarına daha da güç katmıştır. Gelecek yıllarda, yeni ağaç genom dizilerinin tamamlanması ve biyoinformatik, proteomik ve metabolomik çalışmalarının destekleriyle biyoteknolojik araçlarla ağaç ıslahında çok etkileyici sonuçların alınması beklenmektedir.

Küresel ölçekte ağaçlara en önemli zarar veren olayların başında tarım ilaçları (pestisitler) gelmektedir. Tarım ilaçları bitki metabolizmalarında gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların sağlıklı gerçekleşmesini engelleyerek metabolik açıdan zararlar vermekte, ağaçların gelişim ve verimliliğini azaltarak ekonomik açıdan da zararlar oluşturmaktadırlar. Pestisitlerin kullanılmasını engellemek amacıyla *Bacillus thuringiensis* (Bt) bakterisinden elde edilen ve biyolojik pestisit olarak kullanılan Bt toksin genler ağaçların transformasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ellis ve ark. (1993), *Picea glauca* türüne Bt toksinlerini kodlayan Cry1A genini aktarmışlar ve embriyonik dokularda toksisite oranının azaldığını tespit etmişlerdir. *Pinus radiata* türünde yapılan diğer çalışmada, Bt toksin genleri ağaçlara zararlı bir larva türüne karşı değişik oranlarda direnç gösterdiği görülmüştür (Grace ve ark. 2005). Yapılan diğer bir çalışmada, *Populus tremula* × *P. tremuloides* transgenik hibritinde sentetik Bt toksin (Cry3Aa) gen ürünlerinin *Chrysomela tremulae* türü böceğe karşı etkili bir direnç verdiği saptanmıştır (Genissel ve ark. 2003). Buna benzer pek çok Bt toksin genleriyle ilgili transgenik ağaç çalışmaları (Bishop ve ark. 2001; Meilan ve ark. 2000) yaygın olarak yapılmakta ve ticarileştirmek için planlamalar yapılmaktadır.

Ağaçların maruz kaldığı başka bir tehlike ise mantar ve bakteri patojenleridir. Genetik modifikasyonlar sonucu bu patojenlere karşı çeşitli başarıların elde edildiği saptanmıştır. Tütün bitkisinde mantar hastalıklarına karşı direnci artırdığı tespit edilen bacterio-opsin geni hibrit kavak türlerinde çok etkili olmadığı görülmüştür (Mohamed ve ark. 2001). Buna rağmen, transgenik kavak türlerinde NP-1 ve CH5B genlerinin geniş bir aralıktaki mantar patojenlerine dayanıklılık sağladığı

görülmüştür (Meng ve ark. 2004). Transgenik kavak türlerinde antimikrobiyal peptid sentezlettiren D4E1 geninin *Agrobacterium* ve *Xanthomonas* enfeksiyonlarına karşı direnç sağladığı tespit edilmiştir (Mentag ve ark. 2003). Çin beyaz kavağı olarak bilinen *Populus tomentosa* türünde *Beauveria bassiana* mantarından elde edilen Bbchit1 geninin patojenik funguslardan *Cytospora chrysosperma* mantarının enfeksiyonuna karşı direnç artırdığı anlaşılmıştır (Jia ve ark. 2010). Antifungal genlerle transformasyona maruz kalmış kestane ve karaağaç da yapılan çalışmalarda, *Cryphonectria parasitica* ve *Ophiostoma ulmi* patojenlerine karşı tolerans gözlemlenmiştir (Merkle ve ark. 2005). Buğdaydan elde edilen okzalit oksidaz geni (OxO), Amerikan kestanesi (*Castanea dentata*) türünde *C. parasitica* patojenine karşı direncinin geliştiği anlaşılmıştır (Polin ve ark. 2006).

Orman ağaçlarının beslenmesi ağaç büyümesinde en önemli faktörlerden biridir ve özellikle azot ağaç büyümesinde anahtar rol oynamaktadır. Ağaçlarda azot alımını etkileyen Glutamin sentetaz (GS) enzimi GS1 ve GS2 olmak üzere 2 çeşidi bulunmakta ve bunlardan GS1 enziminin sitoplazmada, GS2 enziminin kloroplastta görev yaptığı bilinmektedir. GS geni barındıran transgenik bitkilerin vejetatif formlarında (yaprak büyüklüğü, nod sayısı gibi) çok büyük farklılık oluşturduğu görülmüştür (Fu ve ark. 2003). Transgenik kavak ağaçlarında yapılan tarla çalışmaları sonucunda, ağaç boylarının normal ağaçlardan daha uzun olduğu, protein miktarlarının arttığı fakat gövdelerindeki lignin miktarının ve gövde çapının artmadığı görülmüştür (Jing ve ark. 2004).

Herbisitlere (yabani ot öldürücü kimyasalları) karşı direnç, bitkiler için hayati bir olaydır. Herbisitler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar ve bunlardan en yaygın olarak bilinen glifosfattır. Meilan ve ark. (2000), Amerika'da transgenik 12 kavak genotipinin iki yıl süren tarla çalışmalarında, herbisit direnç geni (CP4 ve GOX) taşıyan ağaçların glifosfat uygulamasına karşı kontrol gruplarına göre (transgenik olmayan) daha

dayanıklı oldukları anlaşılmıştır. Ayrıca, herbisit direnç genlerinin tarla çalışmaları sonucunda sekiz yıl süreyle kararlı olarak kaldığı tespit edilmiştir (Li ve ark. 2008). GS geni barındıran *P. tremula* × *P. alba* hibridi kavak ağaçlarının PPT herbisidine karşı bir direnç gösterdiği anlaşılmıştır (Pascual ve ark. 2008). Yapılan diğer bir çalışmada, bar geni barındıran transgenik *Populus alba* türünde Basta isimli herbiside karşı normal dozajın iki katına maruz kalan transgenik kavakların tolerans gösterdiği görülmüştür (Confalonieri ve ark. 2000).

Çevresel stresler verimliliği etkileyen kritik öğelerdendir ve bunlardan en önemlileri tuzluluk ve kuraklıktır. Tuzluluk stresine karşı direnç geni olan ve *E. coli* bakterisinden izole edilen mt1D geni barındıran transgenik kavak ağaçlarıyla yapılan tarla denemelerinde normal kavak ağaçlarından daha hızlı büyüdükleri görülmüştür (Liu ve ark. 2000). Hu ve ark. (2005), mt1D geni barındıran transgenik kavak ağaçlarında tuz stresi altında stoma sayılarında, terleme ve fotosentetik oranlarda artış görüldüğünü tespit edilmiştir. Tang ve ark. (2007), transgenik *Pinus strobus* türünde CaPF1 geni anlatısının kuraklık ve tuz stresine karşılık direnci artırdığı tarla denemeleriyle anlaşılmıştır. Başka bir çalışmada Gleeson ve ark. (2005), P5CS geni barındıran transgenik *Larix leptoeuropaea* türünde gen anlatısının sonucunda tarla denemelerinde soğuk, tuz ve donma stresine karşılık dirençlerde artış tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada, codA genini barındıran transgenik *Eucalyptus globulus* ağacının tarla denemelerindeki bazı hatlarında NaCl artışına karşı bir tolerans gözlemlenmiştir (Yu ve ark. 2009). *Tamarix hispida* bitkisinden izole edilen ThCAP geni transgenik kavak hibritlerinde (*P. davidiana* X *P. bolleana*) düşük sıcaklıklara karşı direnç sağladığı tespit edilmiştir (Guo ve ark. 2009). Dgany ve ark. (2005), tuzluluğa toleransı etkileyen SP1 geninin *P. tremula* türünde tuzluluk, soğuk ve sıcaklığa karşı toleransında ilerlemeler olduğunu tespit etmişlerdir.

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak odun ürünlerinin kullanılma miktarı da büyük ölçekte artmış ve bu ihtiyaç orman ağaçlarıyla

yapılan biyoteknoloji uygulamalarının değerini de büyük oranda artırmıştır (Boerjan 2005). Günümüzde odun kimyası ve kalitesini artırmaya yönelik çalışmalarda yaygın olarak yapılmaktadır. Ağaçlarda lignin içeriği ile ilgili ilk çalışmaları Hu ve ark. (1999), *Populus tremuloides* türüne 4CL genini aktararak yapmışlar ve sonuçta lignin miktarının % 45 azaldığı buna karşı lignin monomer kompozisyonunun değişmediği tespit edilmiştir. Pilate ve ark. (2002) *P. tremula* × *P. alba* hibritlerinde yaptıkları çalışmada, lignin biyosentezinde etkili COMT ve CAD gen aktivitesini etkileyen modifikasyonlar yapılmış ve CAD gen etkisinin azaltılmasının lignin miktarını azaltmasına karşılık azalan COMT gen aktivitesinin lignin miktarını etkilemediği tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* türüyle gerçekleştirilmiş ve CAD gen aktivitesinin azaltılmasının lignin miktarını etkilemediği görülmüştür (Tournier ve ark. 2003). *Picea abies* türünde yapılan beş yıllık tarla denemesi çalışmasında, CCR gen aktivitesinin azaltılması odun içeriğindeki lignin miktarını % 8 azalttığı anlaşılmıştır (Wadenback ve ark. 2008). Benzer bir çalışma kavakta gerçekleştirilmiş ve CCR gen aktivitesinin azaltılmasının lignin miktarını % 50 azalttığı görülmüştür (Leple ve ark. 2007). Selüloz içeriğiyle ilgili araştırmalar, odun kimyası çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Park ve ark. (2004), mantar kökenli Xyloglucanase geniyle transforme ettikleri *P. alba* türü kavak ağacında, selüloz miktarının başarılı bir şekilde arttığı görülmüştür. Benzer bir çalışmada, *Arabidopsis* bitkisinden izole edilen cel1 geni *P. tremula* türünde selüloz miktarını %10 artırdığı tespit edilmiştir (Shani ve ark. 2004).

Ağaç ıslahı programlarının temel amaçlarından biride ağaç büyüme oranlarının artırılması (ağaç boyu ve gövde çapı artırımı) ve hızlandırılmasıdır. PttEXPA1 geninin ürünü olan proteinin, kavak ağacında gövde üzerindeki düğüm aralıklarını, yaprak genişliğini ve lif çaplarını artırdığı tespit edilmiştir (Gray ve ark. 2007). Ayrıca, kavak ağacında Vitreoscilla haemoglobin geninin morfolojik değişikliğe neden olmadığı fakat

özellikle dikkate değer bir şekilde üç kavak hattında daha yüksek boy ve geniş gövde çapına neden olduğu anlaşılmıştır (Zhang ve ark. 2006). Büyümeyle ilgili kavakta cel1 geninin gövde çapı ve yaprak büyüklüğünü etkilediği (Shani ve ark. 2004), yine kavak ağacında Xyloglucanase geninin gövde uzunluğunu etkilediği saptanmıştır (Park ve ark. 2004).

Transgenik ağaçların kullanılmaya başlandığı diğer önemli bir uygulama ise fitoremediasyon denilen bitkilerin kullanılmasıyla topraktaki kirleticilerin uzaklaştırılması (özellikle ağır metaller) olayıdır. Günümüzde var olan mühendislik temelli fiziksel ve kimyasal yollarla temizleme işlemlerinin pahalı olması ve yüksek teknoloji gerektirmesi sorunlar oluşturmaktadır. Bu süreçte transgenik bitkilerin kullanılması yeni fakat etkili ve başarılı bir biyoteknolojik ilerleme olarak görülmektedir. Özellikle küresel ölçekte ağır metal kirliliği en yaygın problemlerden biridir ve kurşun, civa, kadmiyum, selenyum ve arsenik gibi ağır metaller karasal ve sucul ekosistemler için tehlike arz etmektedir. Genetik modifikasyonlarla oluşturulan GD ağaçlar diğer GD bitkilere oranla bitki kullanılarak iyileştirme (fitoremediasyon) çalışmalarında daha dikkat çekicidir. Che ve ark. (2003), *E. coli* bakterisinden elde ettikleri merA9 ve merA18 genlerini *Populus deltoides* kavak türüne aktararak denemeler yapmışlar ve sonucunda 25 µM civa konsantrasyonu bulunan ortamda transgenik kavaklar normal gelişimine devam ederken yabani ağaç türlerinin gelişemediği görülmüştür. Ayrıca, 40 ppm civa bulunan topraklarda büyütülen deneme ağaçlarının biyokütlelerinin kıyaslanması yapıldığında da GD ağaçların yabani akrabalarından daha gelişmiş oldukları belirlenmiştir. *P. tremula* X *P. alba* hibritleri, *E. coli* bakterisinden izole edilen GSH1 geniyle transformasyonu sonucunda çeşitli konsantrasyonlardaki çinko miktarlarına karşı tolerans gösterdiği tespit edilmiş ve sitoplazmalarında yabani tiplere oranla daha fazla miktarda kadmiyum, krom ve bakır birikimi saptanmıştır (Bittsanszky ve ark. 2005).

### Transgenik Ağaçlar ve Dünyadaki Durum

Dünya üzerinde yaklaşık 35 ülkede orman ağaçlarında genetik modifikasyonlar yapılmakta ve bu çalışmaların tamamının resmi laboratuvar kayıtları ve tarla denemeleri bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmaların %48'i Kuzey Amerika, %32'si Avrupa, %14'ü Asya, %5'i Avustralya ve %1'i Güney Amerika'da

yapılmaktadır ve çalışma yapılan ağaç türlerinde %47 ile en fazla kavak ağacı, %19'la çam türleri, %7 ile okaliptüs, %5'le ladin ağacı izlemektedir (FAO 2004). Transgenik ağaçlarla ilgili çalışma yapan dünyada önemli anahtar konumundaki şirketler bulunmaktadır ve bunlar çalışmalarına hızla devam etmektedirler (Harfouche ve ark. 2011; Tablo 1).

**Tablo 1.** Orman ağaçlarında genetik mühendisliği uygulamaları yapan önemli şirketler ve araştırma alanları

Şirket	Araştırma Alanları
ArborGen (Amerika)	Okaliptüs, çam ve kavakta odun özelliklerini geliştirme
GenFor (Şili)	Çamgillerde böcek direnci ve odun özelliklerini geliştirme
Nippon Paper (Japonya)	Okaliptüs ağacının odun özelliklerini geliştirme
Scion (Yeni Zelanda)	Çamgillerde odun özelliklerini ilerletme
Suzano Pulp and Paper (Brezilya)	Okaliptüs ağacının büyüme hızı ve biokütlesini artırma
SweeTree Technologies (İsveç)	Okaliptüs, ladin ve kavakta odun özellikleri geliştirme

Dünyada özellikle orman ağaçlarıyla yapılan biyoteknolojik çalışmalar geniş bir coğrafyaya dağılmıştır. Amerika ve Avrupa ülkelerinde resmi veya özel kuruluşlara ait pek çok sayıda enstitü ve tarla denemeleri bulunmaktadır. Amerika'da orman ağaçlarında genetik mühendisliği ve biyoteknoloji uygulamaları yapan devlete ait 32, özel 24 adet olmak üzere toplamda 56 enstitü bulunmaktadır (<http://www.aphis.usda.gov/brs/status/relday.html>). Avrupa ülkelerine bakıldığında ise 27'si devlete ait beş özel olmak üzere toplam 32 enstitü bulunmaktadır (<http://gmoinfo.jrc.ec.europa.eu>). Transgenik ağaçlarla ilgili yapılan tarla denemelerine bakıldığında ise Amerika'da 52, Avrupa'da 32 tarla deneme çalışmalarının yapıldığı görülmektedir (Harfouche ve ark. 2011). Çin, dünyada transgenik ağaçların ticari anlamda piyasa sunulduğu tek ülkedir ve 2002 yılından itibaren yaklaşık 1.000.000 üzerinde böcek dirençli transgenik kavak ağacı piyasaya sunulmuş kullanılmıştır. Dünyada ilk olarak 1988 yılında transgenik kavak ağaçlarının tarla denemelerinin kurulduğu ülke Belçika'dır ve çalışma Flanders Biyoteknoloji Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Brezilya, dünyada okaliptüsle ilgili yapılan araştırmalarda en etkin çalışan ülkelerin başında gelmektedir ve International Paper do Brasil, Suzano Bahia Sul Papel e Celulose, Alellyx Applied Genomics, ArborGen, Monsanto gibi şirketler aktif olarak Brezilyada araştırmalar ve tarla

çalışmaları yapmaktadırlar. İsrail'de CBD Teknoloji şirketi okaliptüs, kavak ve çam (*Pinus halepensis*) türünde ağaç kalitesini (selüloz miktarının artırılması, lignin miktarının azaltılması, lif boy ve hacimlerinin artırılması vb...) artırmaya yönelik önemli çalışmalar yapmaktadır. İsveç'te özellikle kavak, okaliptüs, ladin türü ağaçlarda hızlı büyüme, lif boylarının ve hacminin artırılması ve lignin içeriğinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Japonya'da yapılan çalışmalar daha çok okaliptüs, Japon sediri, kavak ve akasya türünde yoğunlaşmıştır. Çalışma amaçları arasında tuzlu ve asitli topraklara dirençli ağaç türleri geliştirmek, lignin içeriğinin azaltılması ve CO<sub>2</sub> fiksasyonunun artırılması hedeflenmektedir. Fransa'da INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) liderliğinde hibrid kavak türlerinde lignin içeriğinin azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır (<http://www.wrm.org.uy>). Türkiye'de transgenik ağaç üretimine yönelik herhangi bir resmi veya özel araştırma enstitüsü bulunmamaktadır. İzmit'te bulunan Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Müdürlüğü altında bulunan ağaç ıslahı bölümünde, klasik ıslahla kavak ve diğer orman ağaçları üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle kavak ve söğütlerde genetik kaynakların belirlenmesi ile tür içi ve türler arası melezleme çalışmaları yapılmaktadır.

### Transgenik Ağaçlar ve Çevresel Etkileri

Son 15–20 yıl içinde doku kültürü teknikleri, gen teknolojileri ve genom analizlerindeki bilimsel gelişmelerden dolayı çeşitli GD ağaçlar geliştirilerek tarla denemeleri yapılmış ve bunlardan bazıları da ticari olarak (kavak) kullanılmaya başlamıştır. Özellikle kavak, çamgiller ve okaliptüs türü ağaçlardaki biyoteknolojik ilerlemeler dikkat çekici boyutlara ulaşmıştır. GD ağaçların doğal ortamlara aktarıldıktan sonraki sosyal, etik, çevresel ve gıda güvenliği açısından etkileri bilim insanları tarafından tartışılmaktadır.

GD ağaçlar, pozitif ve negatif etkilere sahip olan organizmalardır ve günümüzde transgenik ağaçlarla ilgili en temel sorun, doğal ortamlara aktarıldıklarında direkt ve dolaylı yoldan gen akışlarıyla çevrede meydana getirebilecekleri tehlikelerin boyutlarının bilinmemesidir (FAO 2010). GD ağaçlar genelde geniş bir herbisit tolerans özelliğine sahip olan organizmalardır ve doğal ortamlarda bu direnç özelliklerinden dolayı yayılmacı bir özelliğe sahip olabilir ve doğada baskın türler haline gelebilirler. Ayrıca, çevredeki canlılara da gen akışı yoluyla herbisit direnç özelliği kazandırarak diğer yabani ot türlerinin yayılmacı olmalarını sağlayabilir ve böylece ekolojik dengenin bozulmasına neden olabilirler (Volenberg ve ark. 2001). GD ağaçların başka bir riski de gen akışı (transgen kontaminasyonu) ve yatay-dikey gen transferleridir. GD organizmalardan transgenik olmayan organizmalar gen akışı tehlike arz etmektedir ve hatta bitkilerden bakterilere gen geçişleri tespit edilmiştir (Brown 2003). GD organizmalardan çevredeki canlılara karşı gen transferleriyle oluşan genetik kirlenme GD organizmalara karşı bir tartışma oluşturmakta ve doğal olarak ağaçlarda dahil doğadaki bütün canlılar, ekolojik besin zincirinin üyesi olduğundan transgenlerin kendisi ve sentetik ürünleriyle karşılaşmak zorunda kalabilir (Mullin ve Bertrand 1998). Lignin miktarı azaltılmış ağaçlar viral hastalıklara karşı daha kırılğan hale gelebilecek ve toprak yapısının değişmesine neden olabileceklerdir (Farnum ve ark. 2007). Ayrıca, böcek direnç genleri gelecekte pestisit dirençli türlerin oluşmasına neden olabileceği (Van

Frankenhuyzen ve Beardmore 2004) ve böcek dirençli ağaçlardan toprağa sızabilecek toksik kimyasallarında toprak kompozisyonunu değiştirebileceği düşünülmektedir (O'Callaghan ve ark. 2005).

GD ağaçların barındırdığı riskler yanında çevreye sağladığı avantajlarda mevcuttur. Lignin miktarı azaltılmış ağaçlar kâğıt üretiminde büyük kolaylıklar sağlamakla birlikte lignin içeriği yükseltilmiş GD ağaçlar ise biyoyakıt üretiminde verimli olacaktır (Halpin ve ark. 2007). Diğer bir avantajları ise böcek dirençli ağaçlarda pestisit kullanımı azalacak ve ormanlık bölgelerde kullanılan ağaç kimyasallarının çevreye verdiği zararlar azaltılacaktır (Farnum ve ark. 2007). Yok olma riski ve tehlike altındaki ağaç türlerinin biyotik veya abiyotik stres koşullarına maruz kalmasıyla oluşan sorunlar GD ağaçların geliştirilmiş özellikleriyle aşılabilecek ve tuzluluk stresine dayanıklı GD ağaçlar kullanılarak tuzlu topraklar fitoremediasyon ile temizlenebilecektir (Van Frankenhuyzen ve Beardmore 2004). Topraktaki ağır metal kirliliğine karşı transgenik orman ağaçlarının (fitoremediasyon) etkin bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmıştır (Che ve ark. 2003). Ayrıca, ağaç büyüme süresinin kısaltılması ve biyokütle veriminin artırılması da artan dünya nüfusunun odun ihtiyacının karşılanmasına önemli bir kaynak sağlayacaktır (Gray ve ark. 2007).

### SONUÇ VE ÖNERİLER

GD ağaçların risklerini sınırlandıracak bir yolun bulunması zorunluluk olarak görülmektedir ve çözüm için sunulan yolun çok yüksek standartlarda olmasını başarmak zor olacaktır (Valenzuela ve Strauss 2005). GD ağaçların özellikle besin güvenliği ve çevresel etkileri bakımından risk barındırdığı düşünülmekte ve bu alana yönelik yasal önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Birçok Avrupa ülkesinde ve özellikle Amerika'da yasal düzenlemeler hazırlanarak uygulamaya konulmuştur. Amerika'da transgenik çalışmalara yönelik olarak APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service ), FDA (Food and Drug Administration) ve EPA (Environmental Protection Agency) gibi

kuruluşlar etkin olarak önlemler almaktadırlar. Türkiye’de gıda ve yem amaçlı GDO’larla ilgili ürünlerin kontrolüne yönelik yönetmelik 26.10.2009 yılında yürürlüğe girmiştir fakat transgenik ağaçları kapsamamaktadır. Ülkemizde transgenik ağaçlara yönelik yasal düzenlemeler acilen yapılmalı ve uygulamaya konulmalıdır.

Diğer önemli bir konuda teknik eleman ve altyapı eksikliğinin giderilmesidir. Orman ağaçlarıyla ilgili biyoteknoloji enstitüleri, biyoteknolojik konularda uzmanlaşmış akademisyen ve teknik eleman ihtiyacı tamamlanarak devlet ve özel sektör işbirliğiyle yeni girişimler başlatılmalıdır. Laboratuvar çalışmaları ve daha sonraki adım olan tarla denemeleri için altyapı eksiklerimizi kısa sürede giderilerek uzun vadeli ve stratejik hedeflere yönelik projeler gerçekleştirilmelidir. Artan nüfusumuza paralel olarak doğacak olan odun ihtiyacının karşılanmasında, gelecekte hızlı büyüyen ve gelişmiş özellikler kazandırılmış transgenik orman ağaçlarına ihtiyaç duyulma olasılığı yüksektir. Ülkemizin zengin orman genetik kaynakları dikkate alındığında, biyoteknolojik yöntemlerle oluşturulan GD ağaçlar için zengin bir genetik hammaddeye sahibiz ve bu fırsatı iyi değerlendirerek sürdürülebilir ormancılık uygulamalarına ve ürünlerine en fazla katkısı sağlanmalı ve diğer gelişmiş ülkelerle rekabet edebilecek konuma gelinmelidir.

## KAYNAKLAR

- Balocchi C, Valenzuela S (2004) Introduction to GMOs and Biosafety in Forestry. In: Proceedings of the Forestry Biotechnology Workshop, Global Biotechnological Forum, (2–5 March, Concepción, Chile)
- Bishop-Hurley SL, Zabkiewicz RJ, Grace LJ, Gardner RC, Walter C (2001) Conifer genetic engineering: transgenic *Pinus radiata* (D Don) and *Picea abies* (Karst) plants are resistant to the herbicide Buster. Plant Cell Rep 20:235–243
- Bittsanszky A. et al. (2005) Ability of transgenic poplars with elevated S glutathione content to tolerate zinc(2+) stress. Environ. Int. 31:251–254
- Boerjan W (2005) Biotechnology and the domestication of forest trees. Current Opinion in Biotechnology 16:159–166
- Brown JR (2003) Ancient horizontal gene transfer. Nature Reviews Genetics 4(2):121–132
- Burley J (2001) Genetics in sustainable forestry: the challenges for forest genetics and tree breeding in the new millennium. Canadian Journal of Forest Research Vol. 31 no. 4:561–565
- Coleman HD, Canam T, Kang KY, Ellis DD, Mansfield SD (2007) Overexpression of UDP-glucose pyrophosphorylase in hybrid poplar affects carbon allocation. Journal of Experimental Botany 58:4257–4268
- Confalonieri M, Belenghi B, Balestrazzi A, Negri S, Facciotto G, Schenone G, Delledonne M (2000) Transformation of elite white poplar (*Populus alba* L.) cv. ‘Villafranca’ and evaluation of herbicide resistance. Plant Cell Reports 10:978–982
- Dgany O. et al. (2004) The structural basis of the thermostability of SP1, a novel plant (*Populus tremula*) boiling stable protein. J. Biol. Chem. 279:51516–51523
- Ellis DD, McCabe DE, McInnis S, Ramachandran R, Russell DR, Wallace KM, Martinell BJ, Roberts DR, Raffa KF, McCown BH (1993) Stable transformation of *Picea glauca* by particle acceleration. Bio-Technology 11:84–89
- FAO (2004) Preliminary review of biotechnology in forestry including genetic modifications, Rome, Italy.
- FAO (2010) Forests and Genetically Modified Trees, Rome, Italy
- Farnum P, Lucier A, Meilan R (2007) Ecological and population genetics research imperatives for transgenic trees. Tree Genetics & Genomes 3(2):119–133
- Fu J, Sampalo R, Gallardo F, Canovas FM, Kirby EG (2003) Assembly of a cytosolic pine glutamine synthetase holoenzyme in leaves of transgenic poplar leads to enhanced vegetative growth in young plants. Plant Cell & Environment 26:411–418
- Genissel A, Leple JC, Millet N, Augustin S, Jouanin L, Pilate G (2003) High

- tolerance against *Chrysomela tremulae* of transgenic poplar plants expressing a synthetic cry3Aa gene from *Bacillus thuringiensis* ssp. *tenebrionis*. Molecular Breeding 1:103–110
- Gleeson D, Lelu-Walter MA and Parkinson M (2005) Overproduction of proline in transgenic hybrid larch (*Larix* × *leptoeuropaea* (Dengler)) cultures renders them tolerant to cold, salt and frost. Molecular Breeding 15:21–29
- Grace LJ, Charity JA, Gresham B, Kay N, Walter C (2005) Insect-resistant transgenic *Pinus radiata*. Plant Cell Reports 24:103–111
- Gray-Mitsumune M, Blomquist K, McQueen-Mason S, Teeri TT, Sundberg B, Mellerowicz EJ (2007) Ectopic expression of a wood-abundant expansin PttEXPA1 promotes cell expansion in primary and secondary tissues in aspen. Plant Biotechnology Journal 6:62–72
- Guo XH (2009) A ThCAP gene from *Tamarix hispida* confers cold tolerance in transgenic *Populus* (*P. davidiana* × *P. bolleana*). Biotechnol. Lett. 31, 1079–1087
- Halpin C, Thain SC, Tilston EL, Guiney E, Lapierre C, and Hopkins DW (2007) Ecological impacts of trees with modified lignin. Tree Genetics & Genomes 3(2):101–110
- Harfouche A, Meilan R, Altman A (2011) Tree genetic engineering and applications to sustainable forestry and biomass production. Trends in Biotechnology Vol. 29:46–52
- Henderson AR, Walter C (2006) Genetic engineering in conifer plantation forestry. Silvae Genetica 55(6):253–262
- Hu L, Lu H, Liu Q, Chen X, Jiang X (2005) Overexpression of mtlD gene in transgenic *Populus tomentosa* improves salt tolerance through accumulation of mannitol. Tree Physiology 25:1273–1281
- Jia Z (2010) The chitinase gene (Bbchit1) from *Beauveria bassiana* enhances resistance to *Cytospora chrysosperma* in *Populus tomentosa* Carr. Biotechnol. Lett. 32:1325–1332
- Jing ZP, Gallardo F, Pascual MB, Sampalo R, Romero J, de Navarra AT, Canovas FM (2004) Improved growth in a yield trial of transgenic hybrid poplar overexpressing glutamine synthetase. New Phytologist 164:137–145
- Leple JC (2007) Downregulation of cinnamoyl-coenzyme A reductase in poplar: multiple-level phenotyping reveals effects on cell wall polymer metabolism and structure. The Plant Cell 19:3669–3691
- Li J, Meilan R, Ma C, Barish M, Strauss SH (2008) Stability of herbicide resistance over 8 years of coppice in field-grown, genetically engineered poplars. Western Journal of Applied Forestry 23(2):89–93
- Li L, Zhou Y, Cheng X, Sun J, Marita J, M, Ralph J, Chiang VL (2003) Combinatorial modification of multiple lignin traits in trees through multigene co-transformation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 100: 4939–4944
- Liu FH, Sun ZX, Cui DC, Du BX, Wang CR, Chen SY (2000) Cloning of E. coli mtl-D genes and its expression in transgenic Balizhuangyang (*Populus*) (in Chinese with an English abstract). Acta Genetica Sinica 27:428–433
- Meilan R, Ma C, Cheng S, Eaton JA, Miller LK, Crockett RP, DiFazio SP, Strauss SH (2000) High levels of Roundup® and leaf-beetle resistance in genetically engineered hybrid cottonwoods. Washington State University Cooperative Extension Bulletin MISC0272 Pullman Washington, USA 29–38
- Meng L, Li HS, Jin DM, Cui DC, Wang B (2004) Transformation of *Populus deltoids* with CH5B gene. Biotechnology Bulletin 3:48–51
- Mentag R, Luckevich M, Morency MJ, Seguin A (2003) Bacterial disease resistance of transgenic hybrid poplar expressing the synthetic antimicrobial peptide D4E1. Tree Physiology 23:405–411
- Merkle SA, Nairn CJ (2005) Hardwood tree biotechnology. In Vitro Cell Dev. Biol. Plant 41:602–619



- Mohamed R, Meilan R, Ostry ME, Michler CS, Strauss SH (2001) Bacterio-opsin gene overexpression fails to elevate fungal disease resistance in transgenic poplar (*Populus*). Canadian Journal of Forest Research 31:1-8
- Mullin TJ, Bertrand S (1998) Environmental release of transgenic trees in Canada - Potential benefits and assessment of biosafety. The Forestry Chronicle 74(2):203-219
- O'Callaghan M, Glare TR, Gurgess E, Malone LA (2005) Effects of plants genetically modified for insect resistance on nontarget organisms. Annual Review of Entomology 50:271-292
- Park YW, Baba K, Furuta Y, Iida I, Sameshima K, Arai M, Hayashi T (2004) Enhancement of growth and cellulose accumulation by overexpression of xyloglucanase in poplar. FEBS Letters 564:183-187
- Pascual MB, Jing ZP, Kirby EG, Canovas FM, Gallardo F (2008) Response of transgenic poplar overexpressing cytosolic glutamine synthetase to phosphinothricin. Phytochemistry 69(2):382-389
- Pilate G, Guiney E, Holt K, Petit-Conil M, Lapierre C, Leplé J.-C, Pollet B, Mila I, Webster EA, Marstorp HG, Hopkins DW, Jouanin L, Boerjan W, Schuch W, Cornu DC (2002) Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignifications. Nature Biotechnology 20:607-612
- Polin LD (2006) *Agrobacterium*-mediated transformation of American chestnut (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.) somatic embryos. Plant Cell Tissue Organ. Cult. 84: 69-78
- Shani Z, Dekel M, Tsabary G, Goren R, Shoseyov O (2004) Growth enhancement of transgenic poplar plants by overexpression of *Arabidopsis thaliana* endo-1,4- $\beta$ -glucanase (cel1). Molecular Breeding 14:321-330
- Tang W, Newton RJ, Li C, Charles TM (2007) Enhanced stress tolerance in transgenic pine expressing the pepper CaPF1 gene is associated with the polyamine biosynthesis. Plant Cell Reports 26:115-124
- Tournier V, Grat S, Marque C, El Kayal W, Penchel R, de Andrade G, Boudet AM, Teulières C (2003) An efficient procedure to stably introduce genes into an economically important pulp tree (*Eucalyptus grandis*  $\times$  *Eucalyptus urophylla*). Transgenic Research 12: 403-411
- Trontin JF, Walter C, Klimaszewska K, Park YS, Walter MA (2007) Recent progress in genetic transformation of four *Pinus* spp. Transgenic Plant Journal 1(2):314-329
- Tuskan GA, DiFazio S, Jansson S (2006) The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr & Gray). Science 313(5793):1596-1604
- Valenzuela S ve Strauss S (2005) Lost in the woods. Nature Biotechnology vol. 23:531-532
- Van Frankenhuyzen K, Beardmore T (2004) Current status and environmental impact of transgenic forest trees, Canadian Journal of Forest Research 34:1163-1180
- Volenberg DS, Stoltenberg DE, Boerboom CM (2001) Biochemical mechanism and inheritance of cross-resistance to acetolactate synthase inhibitors in giant foxtail. Weed Science 49:635-641
- Wadenback J, von Arnold S, Egertsdotter U, Walter M, Grima-Pettenati J, Goffner D, Gellerstedt G, Gullion T, Clapham D (2008) Lignin biosynthesis in transgenic Norway spruce plants harboring an antisense construct for cinnamoyl CoA reductase (CCR). Transgenic Research 17(3):379-392
- Yu X, Kikuchi A (2009) Establishment of the evaluation system of salt tolerance on transgenic woody plants in the special netted-house. Plant Biotechnol. 26:135-141
- Zhang BY, Su XH, Li YL, Huang QJ, Zhang XH, Zhang L (2006) Regeneration of vgn-transgenic poplar (*Populus alba*  $\times$  *P. glandulosa*) and the primary observation of growth. Chinese Journal of Agricultural Biotechnology 3:59-64